

OBJEKTI Z JEKLENO KONSTRUKCIJO V SLOVENIJI V  
ENAINDVAJSETEM STOLETJUSTEEL CONSTRUCTED STRUCTURES IN SLOVENIA IN THE TWENTY-FIRST  
CENTURY**izvleček**

V uvodu je predstavljen kratek zgodovinski pregled gradnje jeklenih konstrukcij v svetu in predstavljene so osnovne lastnosti jekla. Osrednji del članka sestavljata opis jeklenih konstrukcij mostov in stavb z jekleno konstrukcijo, ki so jih zgradili v Sloveniji v zadnjih desetih letih. Podrobno so opisani: novi cestni most čez Ljubljano v Podpeči, cestni Puhov most čez Dravo na Ptuj, most za pešce čez Grubarjev kanal na Špici med Prulami in Izansko cesto ter dva mostova za obiskovalce Škocjanskih jam: Cerkevnikov most in Mariničev most. Med novozgrajenimi stavbami so arhitekturno izstopale: kompleks odpada kovin v Pivki, razširjena konstrukcija nogometnega stadiona Ljudski vrt v Mariboru in športni park Stožce v Ljubljani, trgovsko zabavišni center Portoval v Novem mestu, počitniško naselje Nebesa v Liveku nad Kobaridom, stanovanjska hiša na Ljubljanskem barju in dva planinska bivaka. V sklepu so opisane prednosti jeklene konstrukcije, ki jo kot nosilno palično, skeletno ali okvirno konstrukcijo uporabljajo pri mnogih poslovnih, industrijskih, športnih, družbenih in stanovanjskih zgradbah.

**ključne besede**

arhitektura v jeklu, jeklena konstrukcija, slovenska arhitektura

**abstract**

*The introduction presents a short historical review of steel construction around the world. Basic information on steel and steel construction is also provided. Among Slovenia's bridge constructions: the new road bridge Podpeč (Ljubljana); the Puh road bridge in Ptuj (Drava); the pedestrian bridge at Špica in Ljubljana; and two bridges for visitors to the Škocjan caves. In steel construction, bearing steel bar structures, and frame and skeletal structures have been utilised for a number of office, industrial, sports, social and residential buildings. In terms of architecture, the outstanding new builds are: the scrap metal junkyard complex in Pivka; the enlarged structure of the football stadium in Maribor and in Ljubljana; the Portoval centre in Novo mesto; the Nebesa holiday village at Livek above Kobarid; a residential house on the Ljubljana Marshes, and two mountain huts. Among refurbished structures, the interesting ones are the old civic electricity works; structures in the southern section of the former army barracks in Metelkova Street; and the elevation of the Mathematics Department of the UL. Recently, construction with steel modular elements has become very popular again. The article concludes with a description of the advantages of the bearing steel structures described.*

**key words**

*Steel architecture, Steel structure, Slovene architecture*

S pojavom parnega stroja v sredini osemnajstega stoletja so se potrebe po kvalitetnem železu znatno povečale. Kakovost predelave železove rude se je v devetnajstem stoletju neprestano izboljševala: leta 1855 je britanski izumitelj Henry Bessemer patentiral tehniko masovne proizvodnje jekla, deset let pozneje so predstavili še nemško izboljšavo talilne peči za jeklo, Siemens-Martinov postopek. V gradbeništvu so jeklo z manj kot enim odstotkom masnega deleža ogljika, ki je primernejše za gradnjo kot kovano ali lito železo, začeli uporabljati proti koncu devetnajstega stoletja. Skoraj istočasno so gradili prvo mostno konstrukcijo, zgrajeno izključno iz jekla: železniški most preko zaliva Forth na Škotskem (1882-90), in prvi nebotičnik Home Insurance Building (1884-85) v Chicagu. Most preko zaliva Forth s skupno dolžino 2,5 kilometra sta iz jeklenih cevastih profilov načrtovala gradbena inženirja, sir John Fowler in sir Benjamin Baker. Sestavljen je iz več enot, ima dva konzolna razpona po 523 metrov, kar je še danes drugi najdaljši razpon konzolnega mostu na svetu, in je znan tudi zato, ker je konzolni del povezan le s členki [Blanc, McEvoy, Plank, 1993: 16-18]. Prvi nebotičnik, deset nadstropij visoki Home Insurance Building, je načrtoval ameriški inženir in arhitekt William Le Baron Jenney. Stavba velja za prvo ognjevarno zgradbo z jekleno okvirno nosilno konstrukcijo, sestavljeno iz stebrov in nosilcev, ki pa so bili nato zakriti z opečno fasado [Dupré, 2008: 14-15].

Kvaliteta izdelave jekla se je tudi v dvajsetem stoletju neprestano izboljševala. Prvo nerjavno jeklo so izdelali leta 1912 in je vsebovalo 11,5 odstotka masnega deleža kroma. Konstrukcijsko jeklo je železova zlitina, ki ima enakomerno kemično sestavo, z manj kot 2,5 promila masnega deleža ogljika, in točno določeno

trdoto. Jeklo se uporablja za nosilno konstrukcijo objektov, za oblikovanje notranjosti objektov in kot zunanja urbana oprema. Konstrukcijsko jeklo je v preteklem stoletju omogočilo razvoj mostov velikih razponov, gradnjo nebotičnikov, hitro postavljenih poslovnih, industrijskih ali trgovskih objektov ter streh velikih razponov brez vmesnih podpor. Postalo je gradivo, ki je prisotno v celotni arhitekturi: od palic in mrež kot armatura v betonu, kot stebri ali nosilci, kot samostojne, kompozitne ali sovprežne jeklene plošče ali kot različna pritrjevalna sredstva: žebli, vijaki ali vešalke.

Danes se v gradbeništvu in arhitekturi uporabljajo standardizirani tipi vroče valjanih prereзов (I, IPE, HEA, HEM, HEB in U profili, L kotnik), hladno oblikovanih prereзов ali varjenih prereзов, ki vsi omogočajo razmeroma enostavno izdelavo samostojnih konstrukcij. Mehko jeklo (S235, S355) se uporablja za izdelavo manj zahtevnih jeklenih konstrukcij in mehke armature za armirani beton, jeklo visoke trdnosti (S400, S500, S600 in celo do S1000) pa za zahtevnejše konstrukcije in izdelavo prednapetega betona. Za medsebojno stikovanje se najpogosteje uporabljajo zvari ali pa mehanska vezna sredstva: zakovice, čepi in vijaki.

**Mostovi**

Včasih so bili mostovi, ki so jih gradili na slovenskih cestah, le redko jekleni. Med prvimi mostovi z jekleno konstrukcijo je Stari cestni most preko Drave v Mariboru, ki so ga za promet odprli leta 1913. Sestavljen je iz treh zaporednih lokov, od katerih vsak lok meri po 42 metrov in je sestavljen iz prostorskega paličja, ki je med seboj kovičeno [Firbas, Fleisinger, Lemajič, 2003: 23-25].

Poleg mostov iz jeklenih prostorskih paličij so se v Sloveniji uveljavili tudi jekleno-betonski sovprežni mostovi. Prvi sovprežni most s konstrukcijo iz jekla in betona so zgradili na Trojanah leta 1960, le dve leti kasneje pa še dva železniška nadvoza v centru Ljubljane: na Celovski in na Dunajski cesti [Markelj, 2010]. Med najbolj poznanimi sovprežnimi mostovi je stari viadukt Peračica, zgrajen med letoma 1963 in 1966 na gorenjski hitri cesti. Most je zasnoval dr. Franci Kržič, eden redkih slovenskih gradbenih inženirjev - konstruktorjev, ki je načrtoval sovprežne mostove. Hkrati s Peračico je zasnoval tudi bližnji viadukt Lešnica (1966), nato cestni most čez Dravo pri Ruti (1970), železniški most čez Pako pri Šoštanju (1970), dva cestna mostova čez Savo Bohinjko na obvozni cesti mimo Bohinjske Bele (1978) ter cestna mostova čez Savo v Tacnu (1978-79) in pri Kranju (1980). Žal je po letu 1980 in predvsem ob intenzivni gradnji avtocest v Sloveniji po letu 1991 prevladal t.i. betonski lobi, zato so bili vsi novozgrajeni avtocestni viadukti iz armiranega betona. Prvi sovprežni most na slovenskem avtocestnem programu so zgradili šele nedavno: cestni most na razcepu pri Slivnici (2008), ki ima poligonalno izvedeno cevno ločno konstrukcijo iz ene cevi [http://www.meteorit-group.com].

Izredno zahteven projekt, čeprav oblikovno manj inovativen, je bila rekonstrukcija desnega tira železniškega mostu preko reke Save pri Litiji (1999-2000). Zaradi iztirjenja vlaka so morali desni most v celoti zamenjati, hkrati pa ohraniti njegovo geometrijo, da je ostal skladen z obstoječim mostom levega tira. Most so sestavili iz jeklenih plošč, ki so jih varili v homogeni zvarjenec na enem bregu reke ter ga postopoma narivali proti drugi brežini [Hladnik, Gruden, Jenko, 1998], [http://www.meteorit-group.com].

V zadnjih letih sta nagrade mednarodne in domače stroke prejela dva mostova z jekleno konstrukcijo. Prvi je sovprežni most za pešce in kolesarje na Ptuju (1997), ki ima inovativno zasnovano konstrukcijo iz jeklenega prostorskega paličja ter sovprežne armiranobetonske plošče in zaradi svoje izredne vitkosti deluje lahkotno in transparentno [Pipenbaher, 1997]. Drugi most je nadomestna Studenska brv za pešce in kolesarje v Mariboru (2007-08), ki je zasnovana kot jekleno prostorsko paličje, sestavljena iz treh vzdolžnih cevi ter poteka preko že prej obstoječih podpor z leseno pohodno ploskvijo [Mlakar, Markelj, 2007]. Novi cestni most preko Ljubljance v Podpeči (2007) ima nosilno prostoležečo jekleno ločno konstrukcijo ojačenim nosilcem in z armiranobetonsko voziščno ploščo [Gruden, 2007]. Tudi brv preko Grubarjevega prekopa na Špici med Prulami in Izansko cesto v Ljubljani (2008-09) je jekleno prostorsko paličje, zasnovano kot dvojni lok z odprtim trikotnim prerezom [http://www.meteorit-group.com]. V Škocjanskih jamah so za obiskovalce prenovili dva mostova: Cerkenikov most je prostoležeča prekladna jeklena konstrukcija (2001), zanimivejši je Mariničev most (2010), ki je prostorsko razgibana jeklena mostna konstrukcija, sestavljena iz med seboj tangentno povezanih ravnih delov in konstantnih krivin skupne dolžine 28 metrov [Mlakar, Markelj, 2010].

### Stavbe

V Sloveniji je stavb z vidno jekleno konstrukcijo razmeroma malo. Nekaj arhitekturno in konstrukcijsko izredno zanimivih objektov iz vidnega jekla so zgradili med letoma 1950 in 1980:

poleg industrijskih hal in športnih dvoran predvsem poslovne in trgovske stavbe. Jeklena nosilna konstrukcija je primerna za hitro gradnjo novih objektov, hkrati pa omogoča tudi velike razpone brez vmesnih podpor (stebrov), kar prispeva k večji fleksibilnosti tlorisa. Po drugi svetovni vojni so v Ljubljani ustanovili podjetje Slovenija projekt, ki se je kmalu razvilo v eno izmed vodilnih podjetij za projektiranje industrijskih obratov, novih naselij, stanovanjskih in družbenih stavb ne le v Sloveniji, temveč tudi v Jugoslaviji [Slovenija projekt: 1961]. Arhitekt Miro Gregorič je projektiral več industrijskih hal s strešno konstrukcijo iz jeklenega paličja: oblikovalnico jeklolivarne Litostroj v Ljubljani (1951), tovarno cementa Anhovo (1953) in žarilnico železarne na Jesenicah (1953). V Slovenija projektu je deloval tudi Josip Didek, ki je načrtoval več tovarn z jekleno konstrukcijo, ki je bila oblečena v horizontalne Durisol plošče: obrate železarne v Štorah, tovarno Sava v Kranju, IMV v Novem mestu in mnoge druge. Ponos jeklarske industrije v Sloveniji je postal paviljon Litostroj (1958) na Gospodarskem razstavišču, ki ga je načrtoval Marko Šlajmer. Med športnimi objekti, ki prav tako potrebujejo velike razpone, sta dominirala ljubljanska Hala Tivoli (1963-65) in ob njej zimsko kopališče Tivoli (1973-75). Proti koncu šestdesetih let je z arhitektom Milanom Miheličem začel sodelovati gradbeni inženir, konstruktor Franci Kržič. Skupaj sta zasnovala več jeklenih konstrukcij trgovskih in poslovnih stavb, nekatere izmed njih so bile nagrajene s pomembnimi arhitekturnimi nagradami: veleblagovnice Market v Osijeku (1963-67), Stoteks v Novem Sadu (1968-72) in Slovenijales v Ljubljani (1974-79), poslovno stolpnico S2 na Bavarskem dvoru v Ljubljani (1969-80) ter njej nasproti mednarodno avtomatsko telefonsko centralo (1972-78). Izredno inovativna je bila jeklena konstrukcijska zasnova Narta studia v Ljubljani (1970-72), ki jo je po ameriških vzorih arhitekturno zasnoval Miloš Lapajne. Inženir Josip Didek je v začetku sedemdesetih let zgradil tudi eno prvih enostanovanjskih stavb z jekleno konstrukcijo v Sloveniji, lastno hišo v Podbočju pri Kostanjevici na Krki.

Vidna jeklena konstrukcija je torej prevladovala v obdobju tretje četrtine dvajsetega stoletja, ki ga slovenski teoretiki arhitekture imenujejo strukturalizem ali funkcionalizem, vendar se mu morda bolj prilega izraz funkcionalistična senzibilnost, saj gre za uporabno občutljivost v arhitekturi. Konstrukcija ni imela samo uporabne vrednosti, temveč je s svojimi detajli prispevala k oblikovnemu videzu stavbe. Vidna jeklena konstrukcija je torej postala okras sami stavbi. Temu obdobju je konec sedemdesetih let dvajsetega stoletja sledila doba postmoderne arhitekture, ki je konstrukcijo skrila za fasadni plašč in jo naredila nevidno. Skoraj hkrati se je v industrijsko razvitem svetu pojavila High-tech arhitektura, arhitektura visoke tehnologije, ki pa se v Sloveniji ni razvila. Tako je šele v enaindevsetem stoletju, v dobi arhitekturnega minimalizma, nastopil čas, ko arhitekti zopet načrtujejo vidno jekleno konstrukcijo.

Danes se v Sloveniji gradi vse več stavb z jekleno konstrukcijo, ne le velikih tovarniških hal, strešnih konstrukcij preko športnih objektov ter neverjetnega števila novih trgovskih centrov, temveč tudi malih stanovanjskih enot, obnovitev starih poslopij, nadzidav ali novih modularnih zgradb. Med novozgrajenimi industrijskimi zgradbami izstopajo tudi objekti v Cementarni Anhovo, vključno z novim, preko sto metrov visokim stolpom toplotnega izmenjevalnika (2009), ki se odlikujejo po izrazito

inženirski dovršenosti ter dokazujejo prednosti natančno projektiranih in zgrajenih jeklenih konstrukcij [Pirih, Habič, Hladnik & drugi, 2009]. V biroju Dekleva Gregorič arhitekti so zasnovali kompleks odpada kovin z dvema stavbama v Pivki (2007). Obe stavbi sta povsem enakih volumnov, razlikujeta se le v gradivu, saj ima upravna stavba jekleno konstrukcijo in fasado, servisni objekt pa ima nosilno konstrukcijo betonsko. Dvojnost arhitekturne podobe je arhitekturna stroka nagradila z več nagradami: mednarodno nagrado, ki jo podeljuje Chicago Athenaeum, Museum of Architecture and Design, za najboljšo novo globalno oblikovanje v letu 2009, s Plečnikovo medaljo za leto 2008 in Zlatim svinčnikom 2009 [<http://www.zaps.si>]. Jeklene strešne konstrukcije so primerne za prekritje večjih razponov športnih objektov. Stadion Arena Petrol v Celju (2003-08) ima nad tribunami streho, sestavljeno iz dveh nosilnih stebrov, na njih pa so po 31 metrov dolgi škatlasti konzolni nosilci, ki so jih predhodno zvarili in na gradbišče pripeljali v celih kosih [Markelj, Reichenberg, 2003]. Športna dvorana malega pokritega stadion Ljudski vrt v Mariboru ima ploskovna, ločno izvedena paličja z razponom 48 metrov, ki so vzdolžno povezana s cevni nosilci [<http://www.meteorit-group.com>]. Evropsko nagrado za projektiranje v jeklu leta 2009 je prejela nova strešna konstrukcija razširjenega nogometnega stadiona Ljudski vrt v Mariboru (2006-08). Stari stadion Ljudski vrt (1960-62), ki sta ga načrtovala arhitekt Milan Černigoj in inženir Boris Pipan, ima nad tribunami 129,8 metrov dolg in 18,4 metrov visok betonski lok, ki je spomeniško zaščiten. Zato je delovna skupina, sestavljena iz dveh arhitekturnih birojev, Ofis Arhitekti in Multiplan Arhitekti, načrtovala širitev starega stadiona tako, da se nova arhitektura stadiona stare betonske konstrukcije ne dotika, hkrati pa skupaj tvorita nov, enoten prostor. Nove tribune prekriva jeklena strešna 25 metrska konzolna konstrukcija iz škatlastih zvarjencev, ki so radialno nameščeni in vpeti v betonsko tribuno. Celotna nova strešna konstrukcija stadiona ima ločno obliko strešin, ki daje objektu poseben pečat [Čeferin, 2008]. Arhitekturni biro Sadar Vuga Arhitekti je načrtoval športni park v ljubljanskih Stožicah (2007-10), ki je sestavljen iz treh osrednjih objektov: nogometnega stadiona, športne dvorane, trgovskega centra ter veliko odprtih rekreacijskih površin. Nogometni stadion je deloma vkopan, iz terena gleda le konzolna streha, ki je bila sprva načrtovana kot prednapeta armiranobetonska konstrukcija. Med gradnjo stadiona so spremenili koncept strehe in izvedena je bila jeklena strešna konstrukcija, sestavljena iz visokih, tenkostenskih zvarjenih nosilcev na osni razdalji od 3 do 3,8 metra [Jarc, 2010]. Streha športne dvorane v Stožicah je zasnovana kot lahka jeklena lupinasta konstrukcija velikih razponov: 120 metrov v dolžino, 100 metrov v širino in ima višinsko ukrivljenost 15 metrov. Primarna konstrukcija je sestavljena iz mreže votlih pravokotnih profilov, ki so med seboj varjeni, in diagonal iz okroglih cevi, ki so členkasto pritrjene na mrežo. Celotna streha je pritrjena le na obodne stebre, kjer se konstrukcija nadaljuje z jeklenimi nosilci kvadratnega prereza v nadstreške in fasado. Lupinasta konstrukcija športne dvorane tako dobi obliko školjke [Završki, 2010]. S športnim parkom v Stožicah je arhitekturni biro Sadar Vuga Arhitekti nadaljeval svoj bogat opus objektov z jekleno nosilno konstrukcijo.

Vidno jekleno konstrukcijo v Sloveniji so v arhitekturo zadnjih

letih dvajsetega stoletja zopet vpeljali prav v biroju Sadar Vuga Arhitekti in z njo začeli zaznamovati svoja dela: Gospodarsko zbornice Slovenije (1996-99), ki je prejela evropsko nagrado za projektiranje v jeklu 2001, vhodno avlo Narodne galerije (1996-2001), poslovno stavbo Arcadia (1999-2000) ter Center Mercator v Novi Gorici (2000-01), ki je prav tako prejel evropsko nagrado za projektiranje v jeklu, tokrat za leto 2003. Pri vseh omenjenih objektih z jekleno konstrukcijo so v biroju Sadar Vuga Arhitekti sodelovali s konstruktorji iz podjetja Elea iC. Prav novi veliki trgovski centri na obrobju mest imajo največkrat jekleno konstrukcijo: od zabaviščno – trgovskega centra Portoal v Novem mestu (2002-03), ki sta ga načrtovala arhitekta Janez Koželj in Jože Jaki ter je prejel evropsko nagrado za projektiranje v jeklu za leto 2005, do vseh novozgrajenih nakupovalnih središč, kakršen je center Supernova na Rudniku v Ljubljani in vseh, ki jih trenutno po Sloveniji še gradijo.

Konstrukcijsko nasprotje proizvodnim, športnim in trgovskim objektom z velikimi razponi je naselje manjših počitniških hiš v vasi Livek nad Kobaridom (2002-04). Arhitekt Rok Klanjšček je s sodelavci načrtoval skupino štirih alpskih počitniških hiš s skupnimi prostori in s hišo za lastnika. Celoten kompleks leži na terasi nad soško dolino s čudovitim razgledom na julijske Alpe, vendar v konstrukcijsko zahtevni, izrazito močni vetrovni coni in na nadmorski višini 800 metrov. Posamezne hiše manjših tlorisnih dimenzij so nanizane okoli dvorišča in so povezane le v kleti, kjer so prostori za rekreacijo: bazen, savne in fitnes. Počitniške hiše imajo tradicionalno obliko, vendar je njihova konstrukcija nekonvencionalna: kletni nivo je armiranobetonski, na njem je jeklena vidna konstrukcija. Stebri iz valjanega jeklenega profila IPE 240 so v mreži 2,7 metra in so na spodnji strani povezani z jeklenimi valjanimi profili HEA 260, na zgornji strani pa so prečno povezani z jeklenimi vezmi ter se nadaljujejo v strešne profile. Jeklena konstrukcija je vzdolžno zavetrovana z nateznimi diagonalami iz polnih jeklenih palic. Fasade hiš so v kleti kamnite in v pritličju lesene; proti dvorišču so zaprte, proti dolini pa omogočajo širok razgled [Čelik, 2007: 172], [<http://www.elea.si>].

Na slabih nosilnih tleh ljubljanskega barja sta arhitekta Domen in Jože Kušar načrtovala stanovanjsko hišo z nosilno jekleno konstrukcijo. Postavljena je na lesenih pilotih, ki jih povezujeta dva armiranobetonska pasovna temelja, na ta dva temelja je postavljenih šest votlih okroglih jeklenih cevi – stebrov, ki tvorijo prosto prehodno pritličje in šele na teh ceveh je zgrajena jeklena skeletna konstrukcija, ki kot nadstropje in mansarda služita za bivalni del hiše [Kušar, 2003].

Še manjših dimenzij je planinski bivač na Kotovem sedlu (2005), skelet iz jekla, ki ga je načrtoval arhitekt Miha Kajzelj. Bivač ima trapezoiden tloris dimenzij, 4,5 metrov dolžine in 2,8 metrov širine, ter poševno enokapno streho. Zaradi velike snežne obremenitve pozimi je konstrukcija jeklen skelet, polnjen s kombiniranimi Trimo ploščami. Celotna konstrukcija, fasada in notranja oprema bivaka so vnaprej v tovarni narejeni elementi, ki so jih po delih s helikopterjem prepeljali na lokacijo, tik ob velikem balvanu, ter ga tam le postavili na podlago [Čelik, 2007: 160-61]. Podobno konstrukcijo, vendar povsem drugačno oblikovan je bivač na Grintovcu (2010) istega arhitekta, izdelan prav tako s Trimovimi elementi [<http://www.trimo.eu>]. Konstrukcijsko povsem enostaven

objekt je nova Trimova poslovna stavba, v kateri je razvojno-inovacijska podmornica, imenovana TRIP (2005-06), ki jo je zasnoval arhitekt Aleš Prinčič s partnerji. Stavba je zaradi lokacije v industrijski coni izrazito usmerjena sam vase. Za estetsko minimalistično oblikovano fasado se skriva notranjost, opremljena s sistemom inteligentne hiše in s poudarjenimi notranjimi ozelenjenimi atriji, ki osvetljujejo sklope manjših prostorov. Jeklena nosilna konstrukcija je dolga 100 metrov in je sestavljena iz tehnološko najzahtevnejših elementov, ki jih proizvajajo v sami tovarni Trimo. Veliko pozornosti so arhitekti namenili skrbno načrtovanim detajlom in za stavbo prejeli zlati svinčnik za leto 2006 in evropsko nagrado za projektiranje v jeklu za leto 2007 [Ebner, 2007].

Vedno več je torej poudarka na gradnji iz vnaprej pripravljenih delov, od manjših fasadnih elementov do popolnoma modularne gradnje večjih objektov, kakršna sta vrta v Podpeči (2009) in Škofji Loki (2010), oba sestavljena iz modularnega montažnega sistema Trimo. Osamljeni niso niti poizkusi s sestavljanjem kontejnerjev v večje poslovne ali stanovanjske objekte, nekaj najbolj zanimivih je prikazanih v knjigi slovenskega avtorja Container Architecture [Kotnik, 2008] in Container Atlas: A Practical Guide to Container Architecture [Slawik, Bergmann, Buchmeier et al., 2010].

Jeklena nosilna konstrukcija se lahko uporablja tudi pri obnovah konstrukcij starih stavb. Pri obnovi in razširitvi stare mestne elektrarne v Ljubljani (2001-02) so nosilne opečne zidove sanirali in jih potresno ojačili z jeklenimi sidrnimi obroči, težo zgradbe pa razbremenili z izgradnjo lahkih medetažnih jeklenih sovprežnih (high bond) konstrukcij. Zunanji izgled stavbe je zaradi spomeniško varstvenih pogojev ostal nespremenjen [www.elea.si]. Pri obnovi šestih stavb na Metelkovi v Ljubljani (2000-06) so za potresno ojačitev opečnatih konstrukcij dodali betonsko jedro, veliki nadstreški ter fasada na dvorišni strani pa imajo novo jekleno konstrukcijo [www.elea.si]. Konstrukcijsko zahtevna je bila nadzidava ter potresna in statična ojačitev armiranobetonske skeletne konstrukcije Fakultete za matematiko in fiziko v Ljubljani (2004-08). Staro armiranobetonsko konstrukcijo iz leta 1970 so porušili do prvega nadstropja, ob njej pa postavili novo jekleno okvirno konstrukcijo z medetažnimi sovprežnimi (high bond) stropi [www.elea.si].

### Sklep

Slovenija ima bogato tradicijo železarstva in jeklarstva, saj je bilo že noriško jeklo znano po vsem Rimskem imperiju. Po antiki je ostala tradicija pridobivanja železa v alpskem svetu Slovenije neprekinjena: v triglavskem predgorju, predvsem na poključnem Rudnem polju in na Jelovici so nabirali bobovec, do 3 cm velike železove kroglice, ki so podobne stročnici bobu. Bobovec so nato predelovali v manjših topilnicah železa v Bohinju, Kamni Gorici in v Železnikih, tradicija umetnostne kovaške obrti se je do današnjih dni ohranila v Kropi. Na Dvoru pri Žužemberku na Krki je v devetnajstem stoletju obratovala pomembna železarna in livarna, ki je izdelovala tudi zahtevne izdelke, med drugim so v njej izdelali prvi litoželezni most: Hrdeckega most v Ljubljani, ki do danes ostaja v uporabi in je najstarejši most s členki v Evropi. Jeklarska naselja, kot so Jesenice, Ravne na Koroškem ali Zreče, so po drugi svetovni

vojni doživela velik razcvet. Jeklarska industrija se je v zadnjih dvajsetih letih močno preoblikovala, med drugimi je nastala skupina Meteriot, ki izdeluje in gradi jeklene konstrukcije, močno se je razvila tovarna Trimo, ki presega slovenske okvire in arhitektom v svetu nudi veliko tehnološko visoko obdelanih jeklenih montažnih elementov.

Inštitut za jeklene konstrukcije kot poseben inštitut Visoke tehniške šole Univerze v Ljubljani je leta 1948 ustanovil gradbeni inženir Miloš Marinček. Kasneje se je inštitut osamosvojil in danes ga poznamo pod imenom Inštitut za metalne konstrukcije (IMK). Delo na inštitutu je usmerjeno k raziskavam in razvoju, projektiranju, nadzoru v času izdelave in montaže, preiskavam vgrajenih materialov, izdelkov in delov konstrukcij ter obremenilnemu preizkušanju konstrukcij.

Med gradbenimi inženirji je izstopal Franci Kržič, ki je z inovativnimi rešitvami jeklenih gradbenih konstrukcij v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja pripomogel k atraktivnim rešitvam arhitekturnih objektov. Danes med gradbenimi inženirskimi podjetji izstopa Elea iC, ki se lahko pohvali z velikim številom uspešno zasnovanih konstrukcij.

V arhitekturi na ozemlju Slovenije so jeklo začeli uporabljati v času po drugi svetovni vojni, še posebej med letoma 1950 in 1980. Arhitekturno delovanje je bilo tedaj izredno zanimivo, saj je nastalo nekaj konstrukcijsko izredno zanimivih objektov v povezavi armiranega betona in jekla, zato obdobje vidne konstrukcije lahko imenujemo tudi doba funkcionalistične senzibilnosti, oziroma uporabna občutljivost v arhitekturi. Ponos jeklarske industrije v Sloveniji po drugi svetovni vojni je najprej postal danes žal popolnoma spremenjeni paviljon Litostroj na Gospodarskem razstavišču. V sedemdesetih letih dvajsetega stoletja je arhitekt Milan Mihelič skupaj s konstruktorjem Francijem Kržičem načrtoval več jeklenih konstrukcij stavb, nekatere izmed njih so bile nagrajene s pomembnimi arhitekturnimi nagradami. Izredno sodoben je bil Narta studio, delo arhitekta Miloša Lapajnet, z deloma vijačeno in deloma varjeno jekleno konstrukcijo.

Po času arhitekture funkcionalistične senzibilnosti je šele v enaindevajsetem stoletju nastopil čas, ko arhitekti zopet načrtujejo vidno jekleno konstrukcijo. Jeklena konstrukcija dovoljuje arhitektu večjo svobodo izražanja z manj omejitvami in s tem ustvarjalnejše načrtovanje: več možnosti za tvorjenje najbolj zahtevnih oblik, za bogato izrazno podobo, uspešno kombinacijo s sodobnimi gradivi in neomejeno uporabo barv. Konstrukcija v jeklu omogoča velike razpone brez vmesnih stebrov, je lahka in vitka, posledično pa je stavba transparentna in ima možnost naravne osvetlitve. Takšna stavba lahko izraža elegantno enostavnost, funkcijo ali značilno identiteto tako naročnika kot arhitekta. Vse naštete lastnosti so zaželeno tako med arhitekti, kot med naročniki.

Vidna jeklena konstrukcija zahteva veliko natančnost vseh sodelujočih: naročnika, arhitekta, konstruktorja in izvajalca del. Arhitekt in konstruktor morata že od najzgodnejše faze načrtovanja nenehno medsebojno sodelovati, saj le tako lahko dosežeta enostavno, funkcionalno, optimalno, torej najbolj celovito rešitev konstrukcije, ki naj omogoči tudi najboljši prostorski učinek stavbe. Načrtovanje s sodobnimi računalniškimi programi omogoča natančen izris jeklene konstrukcije v treh dimenzijah, projektiranje in računanje

takšne konstrukcije je funkcionalno in enostavnejše, vendar vnaprej premišljeno do potankosti, saj načrti zahtevajo veliko število detajlov jeklene konstrukcije: za center Portoval v Novem mestu so izrisali preko 400 različnih jeklenih detajlov. Izvajalec del lahko izdelava jekleno konstrukcijo hitro in uspešno, enostavna in brez večjih napak je zato tudi gradnja oziroma montaža predhodno izdelanih elementov iz linijskih nosilcev ali sestavljenih konstrukcij.

Linijske nosilce, pri katerih je ena dimenzija bistveno večja od ostalih dveh, se sestavlja v zahtevnejše konstrukcijske sisteme. Najpogostejši konstrukcijski sistemi jeklenih konstrukcij so ravninska in prostorska paličja, skeletne in okvirne konstrukcije ter konzolne konstrukcije. Med linijske nosilce sodijo horizontalni in poševni nosilci ter stebri. Jekleno skeletno konstrukcijo so zgradili tako na Ljubljanskem barju in služi kot stanovanjska hiša, kot tudi pri prefabriciranih gorskih bivalih in pri nadzidavi Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Jeklene okvirje so uporabili pri gradnji počitniškega naselja Livek na dolino reke Soče. Primer jeklenega ravninskega paličja je mala pokrita dvorana športnega parka v Mariboru, prostorsko paličje pa so postavili kot streho nad športno dvorano v Stožicah. Konzolne konstrukcije so uporabili pri gradnji pokritih tribun na nogometnih stadionih v Celju, v mariborskem Ljudskem vrtu in na ljubljanskih Stožicah.

Temelji in temeljne plošče stavb so običajno armiranobetonski, vendar so zaradi manjše lastne teže celotne jeklene konstrukcije dimenzionirani na manjšo obremenitev, torej zahteva jeklena konstrukcija manjše stroške temeljenja. Jekleno konstrukcijo postavljajo kvalificirani delavci, ki so dražji od nekvalificirane delovne sile, a gradnja konstrukcije je hitrejša, saj je v veliki meri neodvisna od vremenskih pogojev in traja manj časa kot gradnja v armiranem betonu, zato so celotni stroški gradbišča manjši. Gradnja jeklene konstrukcije je sorazmerno hitra, stavba je takoj vseljiva, zato je takšna konstrukcija izjemno primerna za industrijske hale in trgovske centre, kjer je obratni tok denarja najbolj potreben in viden. Skoraj vsi trgovsko - nakupovalni centri, ki so v zadnjih letih zrastle kot gobe po dežju po Sloveniji, imajo jekleno konstrukcijo: od Centra Mercator v Novi Gorici, Supernove v Ljubljani, do Portovala v Novem mestu, od Izole in Jesenic do Lendave in Črnomlja.

Vendar mora imeti vidna jeklena konstrukcija kvalitetno izvedene spoje, če naj ti postanejo okras sami konstrukciji oziroma stavbi. Spoj med posameznimi deli konstrukcije so lahko kovičeni, vijačeni ali varjeni. Kovičenje je najstarejši način spajanja posameznih jeklenih konstrukcij in se ga danes pri novozgrajenih konstrukcijah ne uporablja več. Vijačenje se uporablja za povezovanje jeklene konstrukcije z betonsko, za spoje, kjer je zaželena razstavljiva zveza, za razmeroma hitro montažno gradnjo ali za gradnjo na višini. Najzanimivejši primer vijačene konstrukcije je kupola športne dvorane v Stožicah. Tretja možnost spajanja jeklenih konstrukcij je varjenje, ki so bolj estetsko, saj stikov med posameznimi elementi večinoma skoraj ni opaziti, vendar morajo biti natančno izvedeni. Varjenje so uporabili tako pri postavitvi jeklenega nadstreška pri športni dvorani v Stožicah, kot tudi pri jeklenih konzolnih nosilcih strehe nad nogometnim stadionom v Stožicah. Danes se v slovenskem gradbeništvu pri izdelavi konstrukcij v večini primerov uporabljajo prav varjeni stiki, ki se lahko avtomatsko izdelajo že v delavnici ali ročno varijo na gradbišču.

Konstrukcije iz jekla so za gradnjo zahtevne, saj potrebujejo poleg projektantskega znanja gradbenika in razumevanja arhitekta ter vizije investitorja tudi skoraj centimetrsko natančnost izvajalcev. Vsaka nenatančnost izdelovalcev konstrukcije se opazi, saj je ne zakrivajo debele plasti ometov. Dolge ravne linije žal postanejo sumljivo zgrbančene, neprimerno je slikanje detajlov varjenih spojev ali stikov.

Pritrjevanje sekundarne konstrukcije za zvočno in toplotno izolacijo ter fasadnih elementov na primarno konstrukcijo je enostavno, večinoma vijačeno, prav tako je enostavno tudi vodenje in prilagajanje različnih instalacij. Konstrukcije iz jekla imajo po končani gradnji možnost velike prilagodljivosti: enostavno je dograjevanje ali ojačevanje konstrukcije, spreminjanje tlorisa ali konstrukcije, prav tako je nezapletena tudi demontaža. Pokrita dvorana v Stožicah bo tako naknadno dobila akustično izolacijo, ki naj bi pripomogla k boljši zvočni kakovosti dvorane in njene uporabe za koncerte.

Vzdrževanje jeklenih konstrukcij je v današnjem času preprosto, z dobro predvidljivimi stroški, in dolgo življenjsko dobo. Najboljši primer dolge življenjske dobe je litoželezni Hrdeckega most preko Ljubljanice v Ljubljani, prvič postavljen na mestu današnjega Čevljarskega mostu (1867), nato prestavljen k mrtvašnici (1931) in danes ponovno sestavljen v podaljški Hrenove ulice (2011).

Z najnovejšo tehnologijo so uspešno rešili tudi včasih težavno protipožarno in protikorozijsko zaščito jekla. Varnost jeklenih konstrukcij je danes zagotovljena s homogenim materialom, ki je podvržen strogi kontroli kvalitete pred vgrajevanjem, vidni stiki konstrukcije pa omogočajo enostavno pregledovanje tudi med uporabo. Konstrukcija ima veliko sposobnost prevzemanja izjemnih obtežb, kakršna sta potres ali eksplozija.

Čeprav je izdelovanje jekla energetsko potratno, okoljevarstveni vidik jeklenih konstrukcij ni zanemarljiv. Objekte z jekleni konstrukcijo gradimo na okolju prijaznem gradbišču z manj hrupa, manj prahu in na manjšem gradbišču, prevoz je preprostejši, enostavna je tudi morebitna prestavitev objekta. In ne nazadnje: danes je več kot 50 odstotkov jeklenih konstrukcij narejenih iz recikliranega jekla in tudi takšno konstrukcijo lahko ponovno recikliramo. Z vidika trajnostnega razvoja je jeklo gradivo, ki ga lahko recikliramo in nato ponovno uporabimo. Je trajno gradivo, vendar tako kot vsa druga gradiva, tudi jeklene konstrukcije potrebujejo skrb in nego. Cena jeklene konstrukcije je zaradi hitrejšega gradnje, manjših temeljev in lažjega pritrjevanja dodatnih elementov na konstrukcijo konkurenčna armiranobetonski gradnji.

Jeklena konstrukcija omogoča fleksibilnost, velike razpone, razgibanost, drznost, zračnost, uporabnost prostora ter visoko estetski in sodobni izgled, a je hkrati zahtevna. Skeletno jekleno konstrukcijo so pred petdesetimi leti načrtovali predvsem za gradnjo novih industrijskih hal, ki zahtevajo hitro gradnjo in možnost fleksibilnosti tlorisa, ter športnih objektov, ki potrebujejo velike razpone, brez vmesnih podpor. Danes imajo novi, veliki trgovski centri na obrobju mest največkrat jekleno konstrukcijo, saj ta prinaša prednosti pred drugimi gradivi: predvsem kratek čas gradnje, večje razpone ter zato tudi večjo fleksibilnost tlorisa. Jeklene konstrukcije danes uporabljamo tudi za individualno stanovanjsko gradnjo, za modularno gradnjo in za prenove konstrukcij starih stavb.

V članku je prikazan pregled najznačilnejših objektov z jekleno

konstrukcijo v Sloveniji s poudarkom na najvidnejših primerih trajnih stavb iz slovenske arhitekture zadnjega desetletja. Spremenljivost, trajnost, hitrost in enostavna gradnja so bili glavni razlog za uporabo jekla kot osnovnega konstrukcijskega gradiva. V času arhitekturnega minimalizma postaja jeklo vedno bolj uporabljeno gradivo, vendar naj zato ne postane arhitektura monotona ali dolgočasna. Spomnimo se časa secesije, ko so z železom bogato okrasili secesijske ograje in nadstrešnice. Arhitektura stavbe mora biti funkcionalna, njena konstrukcija pravilno zasnovana, a hkrati naj bo stavba tudi oblikovno privlačna.

**Zahvaljujem se dr. Borutu Bundari ter g. Gregorju Grudnu iz Inštituta za metalne konstrukcije za sodelovanje, dr. Franciju Kržiču za pripoved o njegovem delu in dr. Miroslavu Preglju za nasvete.**

### Viri in literatura

- Blanc, A., McEvoy, M., Plank, R., (1993): *Architecture and Construction in Steel*. The Steel construction institute, E. & F.N. Spon, London.
- Čeferin, P. (2008): *Football stadium, Maribor*. V: A10 Sep/oct 2008, str.: 23.
- Čelik, M., (2007): *New Architecture in Slovenia* Wien. Springer, New York.
- Dupré, J., (2008): *Skyscrapers*, Black Dog & Loventhal Publishers, New York.
- Ebner, M., (2004): *Jeklo – material prihodnosti*. V: Remec, Č., Ebner, M., Mur, R.: *Združenje kovinske industrije Jeklene konstrukcije*. GZS, Združenje kovinske industrije, Ljubljana, str.: 6-19.
- Ebner, M., (2007): *Trimo Razvojno-Inovacijska Podmornica*. V: Informa, št. 15, str. 10-11.
- Elea iC, [http://www.elea.si/projekti\\_01.htm](http://www.elea.si/projekti_01.htm), <dostop februar 2011>.
- Elea iC, <http://www.elea.si/gradbene-konstrukcije/pocitnisko-naselje-livek>. <dostop september, 2010>.
- Firbas, I., Fleisinger, P., Lemajič, U., (2003): *Mariborski mostovi : gradbeništvo, arhitektura, raziskovalna naloga, Srednja gradbena šola Maribor, Maribor*.
- Gruden, G., (2007): *Novi most čez Ljubljano v Podpeči*. V: *Gradbenik*, december 2007, str.: 22-23.
- Hladnik L., Gruden, G., Jenko, E., (1998): *Projektiranje novega železniškega mostu čez Savo pri Litiji v skladu s predstandardi Eurocode*, V: Saje F., Lopatič, J.: *Zbornik 20. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije*, SDGK, Ljubljana, str.: 49-56.
- Jarc, U., (2010): *Nogometni stadion Stožice* V: Lopatič, J., Markelj, V., Saje F.: *Zbornik / 32. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije*, SDGK, Ljubljana, str.: 141-147.
- Kotnik, J., (2008): *Container Architecture*. Links Books, Barcelona. kovinske konstrukcije, <http://e-konstrukcije.si>, <dostop januar 2011>.
- Kušar, D., (2003): *Jeklena stanovanjska hiša na Ljubljanskem barju*. V: Saje F., Lopatič, J.: *Zbornik 25. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije*, SDGK, Ljubljana, str.: 283-288.
- Markelj, V., (2010): *Sovprežne konstrukcije na slovenskih cestah*. V: *Zbornik referatov / 10. slovenski kongres o cestah in prometu*, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, Ljubljana, str.: 1156-57.
- Markelj, V., Reichenberg, B., (2003): *Nogometni stadion v Celju*. V: Saje F., Lopatič, J.: *Zbornik 25. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije*, SDGK, Ljubljana, str.: 257-260.
- Meteorit-group, [http://www.meteorit-group.com/meteorit\\_reference.htm](http://www.meteorit-group.com/meteorit_reference.htm) <dostop februar, 2011>.
- Mlakar, R., Markelj, V., (2007): *Studenška brv, Most za pešce in kolesarje preko reke Drave v Mariboru*. V: Lopatič, J., Markelj, V., Saje F.: *Zbornik 29. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije*, SDGK, Ljubljana, str.: 83-90.
- Mlakar, R., Markelj, V., (2010): *Mariničev most v Škocjanskih jamah projekt in izgradnja*. V: Lopatič, J., Markelj, V., Saje F.: *Zbornik / 32. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije*, SDGK, Ljubljana, str.: 101-112.
- Orbanić J., (2007): *Jekleni mostovi in prepusti na slovenskih progah*. V: *Gradbenik*, december 2007, str.: 24-25.
- Pipenbaher, M., (1997): *Most za pešce in kolesarje preko reke Drave na Ptuj*. V: Saje F., Lopatič, J.: *Zbornik 19. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije*, SDGK, Ljubljana, str.: 51-58.
- Pirih, M., Habič, T., Hladnik, L., Sapundžič, I., Mur, R., Murgeli, E., (2009): *Med najvišjimi zgradbami v Sloveniji*. V: Lopatič, J., Markelj, V., Saje F.: *Zbornik 31. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije*, SDGK, Ljubljana, str.: 77-84.
- Slawik, H., Bergmann, J., Buchmeier, M., Tinney, S., (2010): *Container Atlas: A Practical Guide to Container Architecture*. Gestalten Verlag, Berlin.
- Slivnik, L., (2010): *Zgradbe z železno oziroma jekleno konstrukcijo v Sloveniji*. V: AR, 2010/1, str.: 38-45.
- Slovenija projekt, (1961): *Slovenija projekt 1946-1961*. Slovenija projekt, Ljubljana.
- Trimo, <http://www.trimo.eu/references> < dostop februar 2011>.
- Završki, M., (2010): *Projekt gradbene konstrukcije športne dvorane Stožice*. V: Lopatič, J., Markelj, V., Saje F.: *Zbornik / 32. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije*, SDGK, Ljubljana, str.: 131-140.
- Zbornica za arhitekturo in prostor Slovenije*, [http://www.zaps.si/index.php?m\\_id=Primorska](http://www.zaps.si/index.php?m_id=Primorska), < dostop februar 2011>.